

AN: PAT 2000-224395

TI: Maximizing exhaust nitrogen oxide storage catalyst efficiency comprises employing model of thermal energy balance

PN: WO200009870-A1

PD: 24.02.2000

AB: NOVELTY - Temperatures (Tvtr, Tnvk) of the exhaust are taken upstream of the catalyst. Monolith inlet temperature (TMon1) is inferred from a model, which is used further to infer monolith outlet temperature (TMon2). The engine is controlled in accordance with the relationship of these temperatures to a given temperature range (TMin, TMax), to which they are limited. The temperature control is maintained during further engine operation. DETAILED DESCRIPTION - Preferred Features: A sensor (21) measures temperatures at the inlet of the NOx storage catalyst (17). A sensor (20) determines the pre-catalyst (16) outlet temperature (Tnvk). Tnvk is alternatively determined by a pre-catalyst temperature model. It is used in the model to calculate the engine outlet exhaust gas temperature (Tvvk). The model also inputs one or more of the following: manifold air intake flowrate, manifold vacuum, ignition timing angle, engine rpm, coolant temperature and ambient temperature; these influence the exhaust temperature. The NOx storage catalyst is heated if the monolith temperature falls below the lower threshold (TMin). It is cooled if the (damaging) maximum threshold is exceeded (TMax). Heating is caused by retarding ignition or rich, hot running with secondary air injection. Cooling requires upstream exhaust valving into a bypass, rich running or exhaust recycle, in which some exhaust gas is reintroduced into the combustion process. The model is based on an energy balance. This takes into account monolith latent thermal energy, its thermal capacity, latent heat transmission from exhaust gases to it, exothermic reaction energy and convective losses to the surroundings. A first order differential equation emerges from the energy balance, which by integration, yields the respective monolith temperature.; USE - To determine and control temperatures governing effective operation of a nitrogen oxide (NOx) storage catalyst. ADVANTAGE - Conditions are adjusted at all times under rational control, to assure that the catalyst is brought into the temperature range of its maximum efficiency, which largely eliminates NOx from the exhaust gases.

Temperature measurement points are minimized and with them, the number of costly sensors. Reliance is placed on the model, deducing monolith temperatures, avoiding all interference otherwise required for their measurement. A similar model is used with the pre-catalyst. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a block diagram of the system used in the process.

Pre-catalyst 16 NOx storage catalyst 17 Sensors 20,21

Permissible temperature range TMin, TMax Lower threshold of monolith temperature TMin Maximum threshold of monolith temperature TMax Monolith inlet temperature TMon1 Monolith outlet temperature TMon2 Exhaust temperatures taken upstream of catalyst Tvtr , Tnvk Engine outlet exhaust gas temperature Tvvk

PA: (SIEI ) SIEMENS AG;

IN: BEER J; ZHANG H;

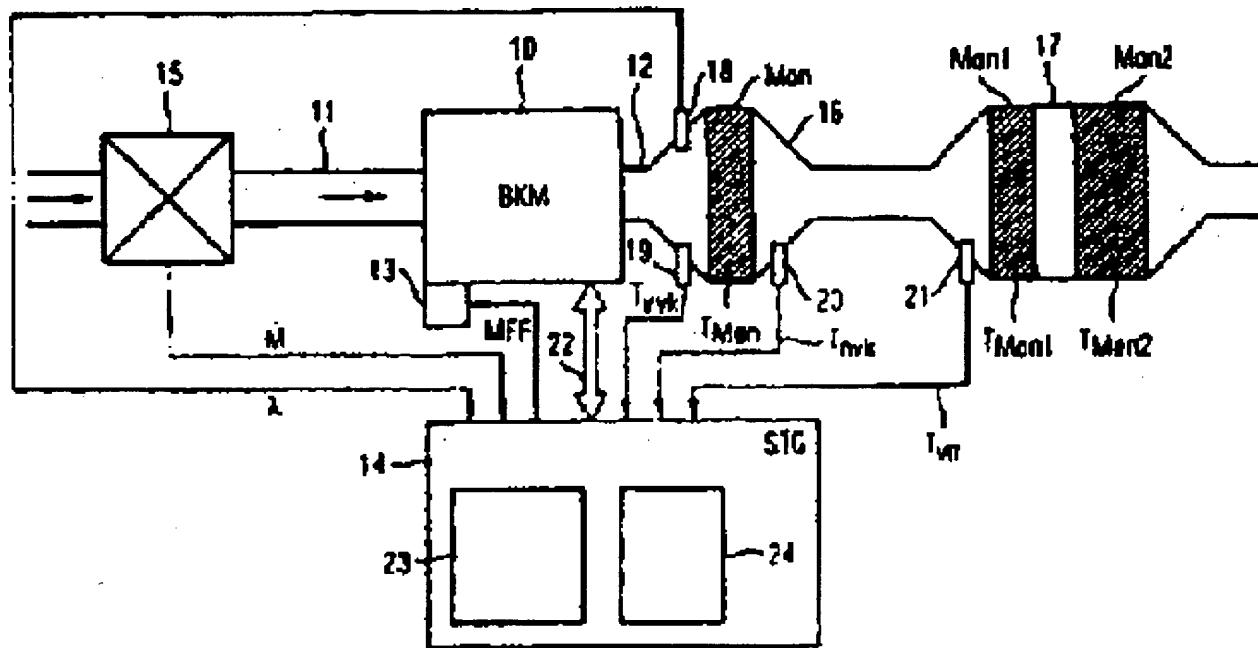
FA: WO200009870-A1 24.02.2000; DE59904980-G 15.05.2003;

DE19836955-A1 09.03.2000; EP1108124-A1 20.06.2001;

This Page Blank (uspto)

EP1108124-B1 09.04.2003;

CO: AT; BE; CH; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; JP;  
LI; LU; MC; NL; PT; SE; US; WO;  
DN: JP; US;  
DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC;  
NL; PT; SE; LI;  
IC: F01N-007/00; F01N-009/00; F02D-009/04; F02D-041/02;  
F02D-043/00;  
MC: E11-Q02; E31-H01; H06-C03B; J04-E01; N06; X22-A03J; X22-A07;  
DC: E36; H06; J04; Q51; Q52; X22;  
FN: 2000224395.gif  
PR: DE1036955 14.08.1998;  
FP: 24.02.2000  
UP: 24.06.2003



This Page Blank (uspto)



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 198 36 955 A 1**

(51) Int. Cl. 7:  
**F 01 N 9/00**  
F 02 D 43/00  
F 02 D 9/04

(21) Aktenzeichen: 198 36 955.7  
(22) Anmeldetag: 14. 8. 1998  
(23) Offenlegungstag: 9. 3. 2000

**DE 198 36 955 A 1**

(71) Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:  
Zhang, Hong, Dr., 93057 Regensburg, DE; Beer,  
Johannes, 93047 Regensburg, DE

(56) Entgegenhaltungen:

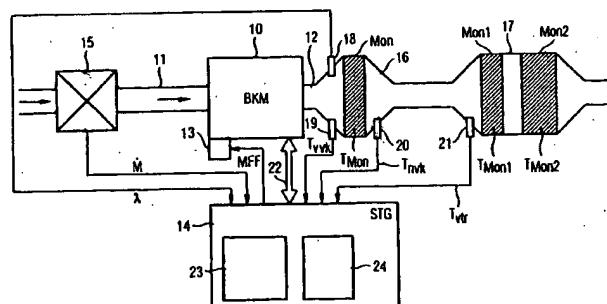
DE 44 33 988 C2  
DE 197 39 751 A1  
DE 196 43 674 A1  
DE 41 22 787 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zum Erkennen und Aufrechterhalten der Betriebsbereitschaft eines NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators

(57) Es wird ein Verfahren beschrieben, bei dem aus modellierter oder gemessener Abgastemperatur stromauf des NOx-Speicherkatalysators (17) die Katalysatormonolithtemperatur am Katalysatoreingang durch ein Temperaturmodell bestimmt wird. Aufgrund des Unterschiedlichen Temperaturverhaltens von Ein- und Ausgang wird die Monolithtemperatur am Katalysator durch ein zusätzliches Temperaturmodell bestimmt.



**DE 198 36 955 A 1**

# DE 198 36 955 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen und Aufrechterhalten der Betriebsbereitschaft eines NOx-Speicherkatalysators gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

5 Für direkteinspritzende Otto-Brennkraftmaschinen wird zur Konvertierung der bei der Verbrennung entstehenden NOx-Schadstoffe ein NOx-Speicherkatalysator verwendet. Im Betrieb der Brennkraftmaschine mit magerem Gemisch wird NOx gespeichert, bei Betrieb mit fettem Gemisch wird gespeichertes NOx durch im Abgasstrom enthaltenes HC und CO reduziert und so zu N<sub>2</sub> konvertiert.

10 Die optimale NOx-Speicherkapazität des NOx-Speicherkatalysators ist dabei nur in einem bestimmten Temperaturintervall des Katalysatormonolithen gegeben. Dieses Temperaturintervall liegt typischerweise in einem Bereich von 250°C-450°C.

15 Zudem ist die Monolithtemperatur eine wichtige Eingangsgröße für die NOx-Speicherfunktion, die in Abhängigkeit von motorischen Größen und der Monolithtemperatur den augenblicklichen Beladungsgrad des NOx-Speicherkatalysators bestimmt. Übersteigt der Beladungsgrad eine bestimmte Grenze, so wird ein Regenerationszyklus eingeleitet, in dem der Beladungsgrad wieder dekrementiert wird.

Versuche zeigen, daß das Temperaturverhalten eines NOx-Speicherkatalysators während Instationärvorgängen durch die beiden extremalen Monolithtemperaturen, die in Strömungsrichtung des Abgases gesehen am Katalysatoreingang und am Katalysatorausgang auftreten, gekennzeichnet ist. Diese beiden extremalen Temperaturen weisen stark unterschiedliches zeitliches Verhalten auf.

20 Dieses Verhalten gilt sowohl für Abgassysteme, bei denen der Katalysator einen einzigen Monolithen enthält, als auch für Katalysatoren mit mehreren, voneinander abstandeten (getrennten) Monolithen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erkennen und Aufrechterhalten der Betriebsbereitschaft eines NOx-Speicherkatalysators anzugeben. Insbesondere soll sichergestellt sein, daß er in einem zulässigen Temperaturbereich betrieben werden kann, in dem eine hohe Konvertierungsrate gegeben ist.

25 Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ein zuverlässiges Erkennen und Aufrechterhalten der Betriebsbereitschaft des NOx-Speicherkatalysators wird erfundungsgemäß erreicht, in dem aus modellierter oder gemessener Abgastemperatur stromauf des NOx-Speicherkatalysators die Katalysatormonolithtemperatur im Katalysator durch ein Temperaturmodell bestimmt wird.

30 Aufgrund des zeitlich unterschiedlichen Temperaturverhaltens von Ein- und Ausgang des NOx-Speicherkatalysators wird die Monolithtemperatur am Ausgang des NOx-Speicherkatalysators durch ein zusätzliches, gleich arbeitendes Temperaturmodell bestimmt. Eingangsgröße dieses Temperaturmodells ist die mittels des Modells berechnete Monolithtemperatur am Eingang des Katalysators.

Durch motorische Maßnahmen, wie z. B. Anfetten, Anheben der Temperatur durch Spätverstellen des Zündwinkels usw. wird dafür gesorgt, daß das sich beide Temperaturwerte der Katalysatormonolithen in einem zulässigen Temperaturintervall befinden.

Das erfundungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß die Anzahl von teuren Temperatursensoren vermindert werden kann, insbesondere braucht keine konstruktiv aufwendige Messung innerhalb des Katalysatormonolithen durchgeführt werden.

40 Durch die genaue Bestimmung der Monolithtemperaturen über ein Modell kann das für eine hohe Konvertierungsrate einzuhaltende Temperaturfenster genau eingehalten werden, unnötig ausgelöste Regenerationsphasen können vermieden werden, was sich wiederum in Kraftstoffeinsparungen und verbessertem Abgasverhalten niederschlägt.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschatzbild einer Abgasanlage einer mit Direkteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine mit zugehöriger Steuerungseinrichtung,

Fig. 2 eine Prinzipdarstellung der Energiebilanzierung in einem dem NOx-Speicherkatalysator vorgesetzten Vor-Katalysator,

Fig. 3 den graphischen Zusammenhang zwischen dem Wirkungsgrad der NOx-Konvertierung und der Monolithtemperatur,

50 Fig. 4 zeitliche Verläufe von Monolithtemperaturen beim Aufheizen des NOx-Speicherkatalysators und

Fig. 5 zeitliche Verläufe von Monolithtemperaturen beim Abkühlen des NOx-Speicherkatalysators.

Eine mit Direkteinspritzung arbeitende Otto-Brennkraftmaschine 10 ist mit einem Ansaugtrakt 11 und einem Abgasstrakt 12 verbunden. Sie weist eine Kraftstoffzumebeinrichtung 13 auf, die eine der Zylinderanzahl der Brennkraftmaschine entsprechende Anzahl von Einspritzventilen beinhaltet und die über entsprechende Signale einer elektronischen Steuerungseinrichtung 14 der Brennkraftmaschine angesteuert werden, über die Einspritzventile wird Kraftstoff direkt in die Zylinder der Brennkraftmaschine eingespritzt. In der Figur ist dabei die eingespritzte Kraftstoffmenge bei Betrieb mit Ladungsschichtung als MFF bezeichnet.

Ein im Ansaugtrakt 11 angeordneter Luftmassenmesser 15 gibt ein Signal für den der Verbrennung in den Zylindern zugeführten Luftmassenstrom M an die Steuerungseinrichtung 14 ab. Im Abgasstrakt 12 ist ein Vorkatalysator 16, auch als Precat bezeichnet und ein in Strömungsrichtung des Abgases gesehen nachgeschalteter NOx-Speicherkatalysator 17, auch als NOx-Trap bezeichnet, angeordnet. Beide Katalysatoren 16, 17 sind mittels eines kurzen, nicht näher bezeichneten Abgasrohrs miteinander verbunden. Der Vorkatalysator 16 ist an einer Stelle nahe des Auslasses der Brennkraftmaschine 10 angeordnet und dient zur Verkürzung der Aufheizzeit des NOx-Speicherkatalysators 17. Außerdem konvertiert er hauptsächlich die Schadstoffe HC und CO. Der NOx-Speicherkatalysator 17 dient in erster Linie zum Konvertieren von NOx, er weist aber auch 3-Wege Eigenschaften auf.

Der Vorkatalysator 16 weist einen einzigen Monolithen Mon auf, während der NOx-Speicherkatalysator 17 zwei räumlich getrennte Monolithen Mon1 und Mon2 besitzt. Als Monolith wird dabei ein wabenförmiger Körper aus Metall oder Keramik bezeichnet, der eine geeignete Beschichtung aufweist.

# DE 198 36 955 A 1

Stromaufwärts des Vorkatalysators 16 ist eine Lambdasonde 18 angeordnet, welche in Abhängigkeit des Restsauerstoffgehaltes im Abgas ein stetiges Ausgangssignal  $\lambda$  an die Steuerungseinrichtung 14 abgibt. Sie dient in bekannter Weise als Regelglied für eine Lambdaregelung des Kraftstoff-Luftgemisches der Brennkraftmaschine 10.

Ferner sind in dem Blockschaltbild an verschiedenen Stellen im Abgassystem Temperatursensoren eingezeichnet, von denen aber entsprechend der im folgenden beschriebenen Varianten des erfundungsgemäßen Verfahrens entweder alle, eine Kombination daraus, oder in einem besonderen Fall überhaupt keiner benötigt werden.

Ein Temperatursensor 19 erfaßt die Abgastemperatur  $T_{vvk}$  stromauf des Vorkatalysators 16 und ein Temperatursensor 20 erfaßt die Abgastemperatur  $T_{vjk}$  stromab des Vorkatalysators 16. Mit einem weiteren Temperatursensor 21 wird die Temperatur des Abgases  $T_{vr}$  stromauf des NOx-Speicherkatalysators 17 gemessen.

Die elektronische Steuerungseinrichtung 14 weist in bekannter Weise einen Mikrocomputer, entsprechende Schnittstellen für Signalaufbereitungsschaltungen, sowie eine Ein- und Ausgabeeinheit auf. Der Mikrocomputer umfaßt eine Zentraleinheit (CPU), welche die arithmetischen und logischen Operationen mit den eingespeisten Daten durchführt. Die dazu notwendigen Programme und Solldaten liefert ein Festwertspeicher (ROM), in dem alle Programmrountinen und alle Kenndaten, Kennlinien, Sollwerte usw. unverlierbar gespeichert sind. Insbesondere ist die Steuerungseinrichtung mit einem Speicher 24 verbunden, in dem u. a. eine Mehrzahl von Kennlinien bzw. Kennfeldern und Schwellenwerten gespeichert sind, deren Bedeutungen anhand der Beschreibung der nachfolgenden Figuren noch näher erläutert werden. Ein Betriebsdatenspeicher (RAM) dient u. a. dazu, die von den Sensoren gelieferten Daten zu speichern, bis sie vom Mikrocomputer abgerufen oder durch aktuellere Daten ersetzt, d. h. überschrieben werden. Über einen Bus werden alle genannten Einheiten mit Daten, Speicheradressen und Kontrollsignalen versorgt.

Zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 10 ist die Steuerungseinrichtung 14 über eine hier nur schematisch dargestellte Daten- und Steuerleitung 22 noch mit weiteren Sensoren und Aktoren verbunden. Die Steuerungseinrichtung 14 wertet die Sensorsignale aus und steuert bzw. regelt unter anderem die Zündung, die Einspritzung, sowie die Abgasnachbehandlung. Als ein für das Verständnis der Erfindung wesentlicher Teil der Steuerungseinrichtung 14 ist ein Block 23 dargestellt, der die von den einzelnen Temperatursensoren abgegebene Signale auswertet und unter Benutzung weiterer, u. a. den Betriebszustand der Brennkraftmaschine charakterisierenden Parameter daraus die Temperaturen der einzelnen Monolithen mittels einer Modellbildung ermittelt, wie es im nachfolgenden anhand der Fig. 2-5 näher erläutert wird.

Im folgenden werden mehrere Möglichkeiten vorgestellt, wie unter Verwendung unterschiedlicher Eingangsgrößen die Monolithtemperaturen des NOx-Speicherkatalysators mit Hilfe eines Modells ermittelt werden können.

Gemäß einer ersten Variante wird die Temperatur  $T_{vr}$  stromauf des NOx-Speicherkatalysators 17 mittels des Temperatursensors 21 erfaßt. Dieser Wert ist Eingangsgröße für ein Temperaturmodell, mit dem die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  des 1. Monolithen Mon1 im NOx-Speicherkatalysator 17 ermittelt wird.

Wendet man eine Energiebilanzierung auf den 1. Monolithen an, so ergibt sich mit der gemessenen Eingangstemperatur  $T_{vr}$  als Eingangsgröße  $T_{in}$  für das Modell:

$$T_{in} = T_{vr} \quad (1)$$

$$\dot{E}_{Mon1} \cdot k_2 = \dot{E}_{Gas \rightarrow Mon1} + \dot{E}_{Ex} - \dot{E}_{Konv} \quad (2)$$

Die linke Seite von Gleichung (2) bezeichnet die thermische Energie des Monolithen Mon1;  $k_2$  ist das Produkt aus thermischer Masse und Wärmekapazität des Monolithen Mon1. Für die Terme auf der rechten Seite gilt:

$$\dot{E}_{Gas \rightarrow Mon1} = \dot{M} \cdot k_1 \cdot (T_{in} - T_{Mon1}) \quad (3)$$

Gleichung (3) bezeichnet den Wärmeübergang von Abgas auf den Monolithen Mon1. Mit  $k_1$  ist der Wärmeübergangskoeffizient Abgas nach Monolith bezeichnet.

Der exotherme Reaktionsenergiestrom während des homogen mageren und geschichteten (stratified) Betrieb der Brennkraftmaschine, sowie während der Regenerationsphasen wird durch Gleichung (4) beschrieben:

$$\dot{E}_{Ex} = \dot{E}_{Ex\_Hom\_Strat}(M, MFF \lambda, k_4) + \dot{E}_{Ex\_Reg}(M, \lambda, k_5) \quad (4)$$

Die Parameter  $k_4$  und  $k_5$  sind zusätzliche Optimierungsparameter, um gemessene und modellierte Temperaturverläufe besser anzupassen.

Die Energieabgabe an die Umgebung durch Konvektion wird durch die Gleichung (5) beschrieben:

$$\dot{E}_{Konv} = k_3(v) \cdot (T_{Mon1} - T_{20}) \quad (5)$$

Die Konvektionskonstante  $k_3(v)$  ist dabei von der Fahrgeschwindigkeit des mit dem beschriebenen Abgassystem ausgerüsteten Kraftfahrzeuges abhängig.  $T_{20}$  bezeichnet die Umgebungstemperatur.

Faßt man die Gleichungen (2)–(5) zusammen, so erhält man eine gewöhnliche DGL 1. Ordnung für die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  des 1. Monolithen Mon1 im NOx-Speicherkatalysator 17:

$$\dot{T}_{Mon1} + \frac{\dot{M} \cdot k_1 + k_3(v)}{k_2} \cdot T_{Mon1} = \frac{\dot{M} \cdot k_1 \cdot T_{in} + k_3(v) \cdot T_{20} + \dot{E}_{Ex}}{k_2} \quad (6)$$

Aus Gleichung (6) kann die gesuchte Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  durch ein aus der Mathematik hinlänglich bekanntes Integrationsverfahren (z. B. Euler, Runge Kutta) bestimmt werden. Die Modellparameter  $k_1$ – $k_3$  werden durch eine Para-

# DE 198 36 955 A 1

meteroptimierung (z. B. Gradientenverfahren) so bestimmt, daß die mit dem Modell berechnete Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon1}}$  so gut wie möglich mit der gemessenen Monolithtemperatur bei Betrieb der Brennkraftmaschine mit fettem Gemisch oder unbeschichteten NOx-Speicherkatalysator (in diesem Betriebszustand findet keine exotherme Reaktion statt) übereinstimmt. Bei Verwendung eines Rohemissions-NOx-Speicherkatalysators (enthält washcoat, aber kein

- 5 Edelmetall und somit keine Exothermie) können die Parameter  $k_1-k_3$  wie oben beschrieben, in beliebigen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine identifiziert werden. Anschließend werden bei festgehaltenen Parametern  $k_1-k_3$  und unter Verwendung eines NOx-Speicherkatalysators mit Edelmetall die Parameter  $k_4$  und  $k_5$  so bestimmt, daß die mit dem Modell berechnete Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon1}}$  so gut wie möglich mit der gemessenen Monolithtemperatur bei homogen mageren, geschichteten Betrieb der Brennkraftmaschine, sowie während der Regenerationsphase des NOx-Speicherkatalysators übereinstimmt.

Um das Modell abzugleichen, wird auf dem Prüfstand die Temperatur des Monolithen Mon1 mittels eines Temperatursensors gemessen, mit der modellierten Größe verglichen und die Modellparameter so eingestellt, daß die nachgebildete und die tatsächliche Temperatur möglichst genau übereinstimmen. Ist eine vorgegebene Genauigkeit bei der Übereinstimmung erreicht, so ist das Modell richtig abgeglichen und es kann für dieses Fahrzeug mit dem untersuchten Abgasstrom zur Berechnung der Monolithtemperatur herangezogen werden. Dadurch kann auf den Einsatz eines teuren, nur mit großem technischen Aufwand realisierbaren Temperatursensors unmittelbar im Monolithen verzichtet werden. Ein solcher ist nur für die Applikation und den Abgleich des Modells auf dem Prüfstand notwendig.

Messungen zeigen, daß sich das Temperaturverhalten des 2. Monolithen, insbesondere während instationärer Betriebszustände deutlich vom Verhalten des 1. Monolithen unterscheidet. Deshalb ist es notwendig das Temperaturverhalten des 2. Monolithen durch ein eigenes Modell zu berücksichtigen.

Dazu wird die Ausgangsgröße  $T_{\text{Mon1}}$  des Temperaturmodells für den 1. Monolithen als Eingangstemperatur für die Modellierung der 2. Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon2}}$  verwendet:

$$T_{\text{in}} = T_{\text{Mon1}} \quad (7)$$

25 Es wird dabei angenommen, daß nach Durchströmen des Abgases von Monolith 1 die Abgastemperatur gleich der Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon1}}$  ist.

Mit der Eingangsgröße aus Gleichung (7) gelten die Gleichungen (2)–(6) analog für die Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon2}}$  des 2. Monolithen. Die Parameter  $k_1-k_5$  werden analog bestimmt, wie es anhand der Modellbildung der Monolithtemperatur 30  $T_{\text{Mon1}}$  des 1. Monolithen beschrieben wurde, wobei sich im allgemeinen unterschiedliche Werte als die bei der Bestimmung von  $T_{\text{Mon1}}$  ergeben. Für die Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon2}}$  ergibt sich somit eine gewöhnliche Differentialgleichung 2. Ordnung.

Gemäß einer zweiten Variante wird nicht die Abgastemperatur  $T_{\text{vv}}$  stromauf des NOx-Speicherkatalysators 17 als Eingangsgröße für das Temperaturmodell zur Bestimmung der beiden Monolithtemperaturen herangezogen, sondern die 35 Abgastemperatur stromab des Vorkatalysators 16. Dieses Verfahren wird insbesondere dann angewandt, wenn die zur Diagnose des Vorkatalysators 16 ohnehin notwendigen Temperatursensoren 19 und 20 vorhanden sind. Damit steht die Temperatur  $T_{\text{vvk}}$  auch zur Modellierung der Monolithtemperaturen zur Verfügung und bei einer solchen Konfiguration der Temperatursensoren erübrigts sich ein weiterer Temperatursensor zur Temperaturüberwachung des NOx-Speicherkatalysators. Die Modellparameter werden dabei so angepaßt, daß der Einfluß des Abgasrohres zwischen der Position des 40 Temperatursensors 20 und dem Einlaß des NOx-Speicherkatalysators 17 berücksichtigt wird.

Die mittels des Temperatursensors 20 gemessene Temperatur  $T_{\text{vvk}}$  wird als Eingangsgröße  $T_{\text{in}}$  für das Monolithtemperaturmodell verwendet:

$$T_{\text{in}} = T_{\text{vvk}} \quad (8)$$

45 Analog dem oben beschriebenen Verfahren werden nach den Gleichungen (2)–(6) die Modellparameter zur Berechnung der Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon1}}$  bestimmt.

Im Anschluß an die Bestimmung der Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon1}}$  des ersten Monolithen Mon1 werden im weiteren die Modellparameter zur Berechnung der Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon2}}$  des zweiten Monolithen Mon2 bestimmt, wobei als 50 Eingangsgröße  $T_{\text{in}}$  für das Modell

$$T_{\text{in}} = T_{\text{Mon1}} \quad (9)$$

gilt. Das weitere Vorgehen ist analog zu dem bereits beschriebenen Verfahren. Es ist dabei eine Differentialgleichung 2. 55 Ordnung zu lösen.

Für den Fall, daß weder der Temperatursensor 19, noch der Temperatursensor 20 vorhanden ist und somit die Temperaturwerte des Abgases vor ( $T_{\text{vvk}}$ ) und nach ( $T_{\text{vvk}}$ ) dem Vorkatalysator 16 nicht zur Verfügung stehen (in diesem Fall ist auch keine Diagnose des Vorkatalysators möglich), kann ein beliebiges Abgastemperaturmodell zur Bestimmung der Abgastemperatur  $T_{\text{vvk}}$  stromauf des Vorkatalysators verwendet werden. Mittels eines solchen Abgastemperaturmodells 60 werden aus Zustandsgrößen der Brennkraftmaschine, welche die Abgastemperatur beeinflussen, wie z. B. Zündwinkel, angesaugte Luftmasse, Saugrohrdruck, Drehzahl, Kühlmitteltemperatur, Umgebungstemperatur die Abgastemperatur berechnet.

Durch ein Temperaturmodell für den Vorkatalysator 16 wird daran anschließend die Temperatur  $T_{\text{vvk}}$  stromab des Vorkatalysators 16 modelliert. Die so erhaltene Temperatur  $T_{\text{vvk}}$  kann dann wie oben bereits beschrieben (Gleichungen 65 (2)–(6)) zur Bestimmung der beiden Monolithtemperaturen  $T_{\text{Mon1}}$  und  $T_{\text{Mon2}}$  verwendet werden. Dabei gilt für die Eingangsgröße des Modells zur Modellierung der Temperatur  $T_{\text{vvk}}$ :

$$T_{\text{in}} = T_{\text{vvk}} \quad (10)$$

# DE 198 36 955 A 1

Die Fig. 2 zeigt eine Prinzipdarstellung der Energiebilanzierung im Vorkatalysator. Bei der Energiebilanzierung der thermischen Energie des Monolithen wird angenommen, daß die exotherme Reaktionsenergie, die mit Hilfe der Gleichung (4) unter Verwendung geeigneter Parameter bestimmt werden kann, vollständig zur Erwärmung des Monolithen aufgewendet wird. Damit erhält man

5

$$\dot{E}_{\text{Gas} \rightarrow \text{Mon}} + \dot{E}_{\text{Ex}} = \dot{T}_{\text{Mon}} \cdot k_2 + \dot{E}_{\text{Konv}} + \dot{E}_{\text{Rad}} \quad (11)$$

wobei für den Wärmeübergang von Abgas auf den Monolithen  $E_{\text{Gas} \rightarrow \text{Mon}}$  und die durch Konvektion abgegebene Energie  $E_{\text{Konv}}$  die Gleichungen (3) bzw. (4) gelten.

10

Für die an die Umgebung abgegebene Strahlungsleistung gilt:

$$\dot{E}_{\text{Rad}} = k_6 \cdot (T_{\text{Mon}}^4 - T_{20}^4) \quad (12)$$

Dabei steht die Größe  $k_6$  für das Produkt aus Boltzmannkonstante und der Oberfläche des Vorkatalysatorgehäuses.

15

Aus Gleichung (11) erhält man eine gewöhnliche nicht lineare Differentialgleichung 1. Ordnung für die Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon}}$  des Vorkatalysators, die sich durch ein Integrationsverfahren (z. B. Euler, Runge Kutta) lösen läßt.

Eine Energiebilanzierung über die zugeführte und abgegebene Abgasenergie sowie vom Abgas auf den Monolithen übertragenen Wärmestrom, liefert einen Ausdruck für die Abgastemperatur  $T_{\text{nvk}}$  nach dem Vorkatalysator:

20

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{Gas} \rightarrow \text{Mon}} + \dot{E}_{\text{aus}} \quad (13)$$

Dabei gilt mit der spezifischen Wärme des Abgases  $c_p$ :

25

$$\dot{E}_{\text{in}} = C_p \cdot M \cdot T_{\text{in}}; \dot{E}_{\text{aus}} = C_p \cdot M \cdot T_{\text{nvk}} \quad (14)$$

Aus den Gleichungen (13) und (14) folgt schließlich:

$$T_{\text{nvk}} = T_{\text{in}} - \frac{k_1}{C_p} (T_{\text{in}} - T_{\text{Mon}}) \quad (15)$$

30

Die Modellparameter  $k_1, k_2, k_3, k_6$  sowie die Parameter der exothermen Energie  $k_4$  und  $k_5$  aus Gleichung (4) werden über ein Parameteroptimierungsverfahren (z. B. Gradientenverfahren) so bestimmt, daß die Temperatur  $T_{\text{nvk}}$  modelliert bestmöglich mit der entsprechenden gemessenen Größe übereinstimmt. Die Modellparameter  $k_1, k_2, k_3, k_6$  werden dabei, wie für den NOx-Speicherkatalysator beschrieben, zuerst bestimmt.

35

Im folgenden wird erläutert, wie mit Hilfe der über die beschriebenen Modelle ermittelten Monolithtemperaturen die Betriebsbereitschaft des NOx-Speicherkatalysators erkannt und aufrechterhalten werden kann.

Zur optimalen Speicherung von NOx darf der NOx-Speicherkatalysator nur in einem bestimmten Temperaturfenster betrieben werden. Die entscheidenden Temperaturen sind dabei die Monolithtemperaturen. Damit ergibt sich als Bedingung für die Monolithtemperaturen:

40

$$(T_{\text{Mon1}} \in [T_{\text{Min}}, T_{\text{Max}}]) \wedge (T_{\text{Mon2}} \in [T_{\text{Min}}, T_{\text{Max}}]) \quad (16)$$

Beide Monolithtemperaturen müssen also innerhalb des von einem unteren Temperaturschwellenwert  $T_{\text{Min}}$  und einem oberen Temperaturschwellenwert  $T_{\text{Max}}$  begrenzten Temperaturintervall liegen. Daraus ergibt sich eine zeitliche Bedingung, ab wann der NOx-Speicherkatalysator betriebsbereit ist und seine größte Konvertierungsrate besitzt.

45

In Fig. 3 ist qualitativ der Verlauf des Wirkungsgrades der NOx-Konvertierung in Abhängigkeit der Monolithtemperatur  $T_{\text{Mon1}}$  bzw.  $T_{\text{Mon2}}$  graphisch dargestellt. Ein typischer Wert für  $T_{\text{Min}}$  liegt bei 250°C, ein typischer Wert für  $T_{\text{Max}}$  liegt bei 450°C. Ist die Temperatur des Monolithen kleiner als der untere Schwellenwert oder größer als der obere Schwellenwert, so findet die Konvertierung nur mit einem sehr geringen Wirkungsgrad statt. Das Temperaturfenster muß deshalb möglichst genau eingehalten werden.

50

Die mit Hilfe der beschriebenen Modelle bestimmten Monolithtemperaturen  $T_{\text{Mon1}}$  und  $T_{\text{Mon2}}$  werden nun mit diesen Schwellenwerten  $T_{\text{Min}}$  und  $T_{\text{Max}}$  verglichen. Nur wenn beide Temperaturen innerhalb des durch die Schwellenwerte definierten Intervalls liegen, ist der NOx-Speicherkatalysator betriebsbereit und die Brennkraftmaschine kann in einem Betriebsbereich betrieben werden, der eine NOx-Speicherung erfordert (homogen mager oder geschichtet).

55

Liegt zumindest eine Monolithtemperatur außerhalb des Intervall, so werden steuernde Maßnahmen eingeleitet, die entweder ein Aufheizen (bei Unterschreiten des unteren Schwellenwertes  $T_{\text{Min}}$ ) oder ein Abkühlen (bei Überschreiten des oberen Schwellenwertes  $T_{\text{Max}}$ ) des NOx-Speicherkatalysators bewirken.

60

Dadurch wird erreicht, daß der NOx-Speicherkatalysator wieder in dem optimalen Temperaturbereich betrieben wird.

Als mögliche steuernde Maßnahme zum Erhöhen der Monolithtemperatur des NOx-Speicherkatalysators kann der Zündwinkel in Richtung spät verstellt werden und/oder die Brennkraftmaschine im Warmlauf mit fettem Gemisch in Verbindung mit Sekundärlufteinblasung betrieben werden.

65

Zum Senken der Monolithtemperatur kann eine, in der Fig. 1 nicht dargestellte, stromauf des NOx-Speicherkatalysators angeordnete Abgasklappe betätigt werden, die den Abgasweg verlängert, indem sie einen Teil des Abgases in einen Bypass leitet und somit eine Kühlung des Abgases bewirkt. Die Brennkraftmaschine kann aber auch mit fettem Gemisch betrieben werden, oder ein Teil des Abgases wird durch eine Abgasrückführeinrichtung wieder dem Verbrennungsprozess zugeführt, wodurch die Spitzentemperatur im Zylinder gesenkt wird und folgedessen das ausströmende Abgas eine

geringere Temperatur aufweist.

Die Fig. 4 zeigt in qualitativer Darstellung die zeitlichen Verläufe der beiden Monolithtemperaturen  $T_{Mon1}$  und  $T_{Mon2}$  während des Aufheizvorganges des NOx-Speicherkatalysators.

Das Aufheizverhalten ist gekennzeichnet durch

$$5 \quad \frac{dT_{wr}}{dt} > 0 .$$

Liegen beide Monolithtemperaturen  $T_{Mon1}$  und  $T_{Mon2}$  während des Aufheizvorganges noch unterhalb des Schwellenwertes  $T_{Min}$ , so steigt zunächst die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  des 1. Monolithen schneller an, als die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  des 2. Monolithen. Die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  erreicht den Schwellenwert  $T_{Min}$  zum Zeitpunkt  $t_1$ , während die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  diesen erst zum Zeitpunkt  $t_3$  erreicht. Dies bedeutet, daß die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  die kritische Temperatur ist. Erst wenn auch die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  den unteren Schwellenwert überschritten hat, steht die volle Konvertierungsfähigkeit und Speichereigenschaft des NOx-Speicherkatalysators zur Verfügung.

10 Liegen beide Monolithtemperaturen  $T_{Mon1}$  und  $T_{Mon2}$  im Intervall  $[T_{Min}, T_{Max}]$ , so steigt zunächst die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  schneller an als die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$ . Die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  erreicht den Schwellenwert  $T_{Max}$  zum Zeitpunkt  $t_2$ , während die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  diesen erst zum Zeitpunkt  $t_4$  erreicht. Dies bedeutet, daß die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  die kritische Temperatur ist, da diese zuerst den oberen Schwellenwert  $T_{Max}$  überschreitet.

15 Die Fig. 5 zeigt in qualitativer Darstellung die zeitlichen Verläufe der beiden Monolithtemperaturen  $T_{Mon1}$  und  $T_{Mon2}$  während des Abkühlvorganges des NOx-Speicherkatalysators.

20 Das Abkühlverhalten ist gekennzeichnet durch

$$25 \quad (\frac{dT_{wr}}{dt} < 0) .$$

Liegen beide Monolithtemperaturen  $T_{Mon1}$  und  $T_{Mon2}$  während des Aufheizvorganges noch oberhalb des Schwellenwertes  $T_{Max}$ , so fällt zunächst die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  des 1. Monolithen schneller ab, als die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  des 2. Monolithen. Die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  fällt zum Zeitpunkt  $t_5$  unterhalb des Schwellenwertes  $T_{Max}$ , während die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  diesen erst zum Zeitpunkt  $t_7$  unterschreitet. Dies bedeutet, daß die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  die kritische Temperatur ist. Messungen zeigen, daß die Zeitspanne  $t_7-t_5$  bis zu ca. 200 Sekunden betragen kann.

30 Liegen beide Monolithtemperaturen  $T_{Mon1}$  und  $T_{Mon2}$  im Intervall  $[T_{Min}, T_{Max}]$ , so fällt zunächst die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  schneller ab als die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$ . Die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  erreicht den unteren Schwellenwert  $T_{Min}$  zum Zeitpunkt  $t_6$ , während die Monolithtemperatur  $T_{Mon2}$  diesen erst zum Zeitpunkt  $t_8$  erreicht. Dies bedeutet, daß die Monolithtemperatur  $T_{Mon1}$  die kritische Temperatur ist, da diese zuerst den unteren Schwellenwert  $T_{Min}$  unterschreitet.

## Patentansprüche

- 40 1. Verfahren zum Erkennen und Aufrechterhalten der Betriebsbereitschaft eines im Abgastrakt (12) einer Brennkraftmaschine (10) angeordneten NOx-Speicherkatalysators (17), wobei
- die Temperatur ( $T_{vr}, T_{nvk}$ ) des Abgases stromauf des NOx-Speicherkatalysators (17) ermittelt wird,
  - aus der ermittelten Abgastemperatur ( $T_{vr}$ ) über ein Temperaturmodell eine erste Monolithtemperatur ( $T_{Mon1}$ ) am Eingang des NOx-Speicherkatalysators (17) berechnet wird,
  - aus der ersten Monolithtemperatur ( $T_{Mon1}$ ) über das Temperaturmodell eine zweite Monolithtemperatur ( $T_{Mon2}$ ) am Ausgang des NOx-Speicherkatalysators (17) berechnet wird,
  - überprüft wird, ob beide Monolithtemperaturen ( $T_{Mon1}, T_{Mon2}$ ) innerhalb eines vorgegebenen Temperaturintervales ( $[T_{Min}, T_{Max}]$ ) liegen,
  - in Abhängigkeit des Ergebnisses der Überprüfung steuernde Maßnahmen für den Betrieb der Brennkraftmaschine (10) eingeleitet werden, so daß diese Temperaturbedingung  $[T_{Min}, T_{Max}]$  erfüllt und im weiteren Betrieb der Brennkraftmaschine aufrechterhalten wird.
- 45 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des Abgases ( $T_{vr}, T_{nvk}$ ) mittels eines Temperatursensors (21) gemessen wird, der im Einlaßbereich des NOx-Speicherkatalysators (17) angeordnet ist.
- 50 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem NOx-Speicherkatalysator (17) in Strömungsrichtung des Abgases gesehen ein Vorkatalysator (16) vorgeschaltet ist und die Temperatur des Abgases ( $T_{nvk}$ ) am Auslaß des Vorkatalysators ermittelt wird.
- 55 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgastemperatur ( $T_{nvk}$ ) mittels eines Temperatursensors (20) gemessen wird.
- 60 5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgastemperatur ( $T_{nvk}$ ) über ein Temperaturmodell für den Vorkatalysator (16) berechnet wird und als Eingangsgröße für dieses Modell die Abgastemperatur ( $T_{nvk}$ ) am Auslaß der Brennkraftmaschine herangezogen wird.
- 65 6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgastemperatur ( $T_{nvk}$ ) über ein Temperaturmodell für den Vorkatalysator (16) berechnet wird und als Eingangsgröße für dieses Modell die mittels eines Abgastemperaturmodells erhaltene Abgastemperatur herangezogen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Eingangsgröße für das Abgastemperaturmodell mindestens eine der folgenden Zustandsgrößen der Brennkraftmaschine angesaugte Luftmasse, Saugrohrdruck, Zündwinkel, Drehzahl, Kühlmitteltemperatur, Umgebungstemperatur verwendet wird, welche die Abgastemperatur beeinflußt.

# DE 198 36 955 A 1

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß Maßnahmen zum Aufheizen des NOx-Speicherkatalysators (17) eingeleitet werden, wenn die Monolithtemperatur einen unteren Schwellenwert ( $T_{Min}$ ) unterschreitet und Maßnahmen zum Abkühlen des NOx-Speicherkatalysators (17) eingeleitet werden, wenn die Monolithtemperatur einen oberen Schwellenwert ( $T_{Max}$ ) überschreitet. 5
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Maßnahmen zum Aufheizen des NOx-Speicherkatalysators (17) eine Verstellung des Zündwinkels in Richtung spät und/oder einen Betrieb der Brennkraftmaschine im Warmlauf mit fettem Gemisch in Verbindung mit Sekundärlufteinblasung umfassen. 10
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Maßnahmen zum Abkühlen des NOx-Speicherkatalysators (17) das Ansteuern einer stromauf des NOx-Speicherkatalysators (17) angeordnete Abgasklappe umfassen, die den Abgasweg verlängert, indem sie einen Teil des Abgases in einen Bypass leitet. 10
11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Maßnahmen zum Abkühlen des NOx-Speicherkatalysators einen Betrieb der Brennkraftmaschine mit fettem Gemisch umfassen oder das Aktivieren einer Abgasrückföhreinrichtung, mit dem ein Teil des Abgases wieder dem Verbrennungsprozess zugeführt wird. 15
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Temperaturmodell eine Energiebilanzierung beinhaltet, das die thermische Energie des Monolithen, die thermische Masse des Monolithen, den Wärmeübergang von Abgas auf den Monolithen, die exotherme Reaktionsenergie und die durch die Energieabgabe an die Umgebung durch Konvektion berücksichtigt. 15
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Energiebilanzierung eine gewöhnliche Differentialgleichung 1. Ordnung aufgestellt wird, aus der mittels eines Integrationsverfahrens die jeweilige Monolithtemperatur bestimmt wird. 20

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG 1

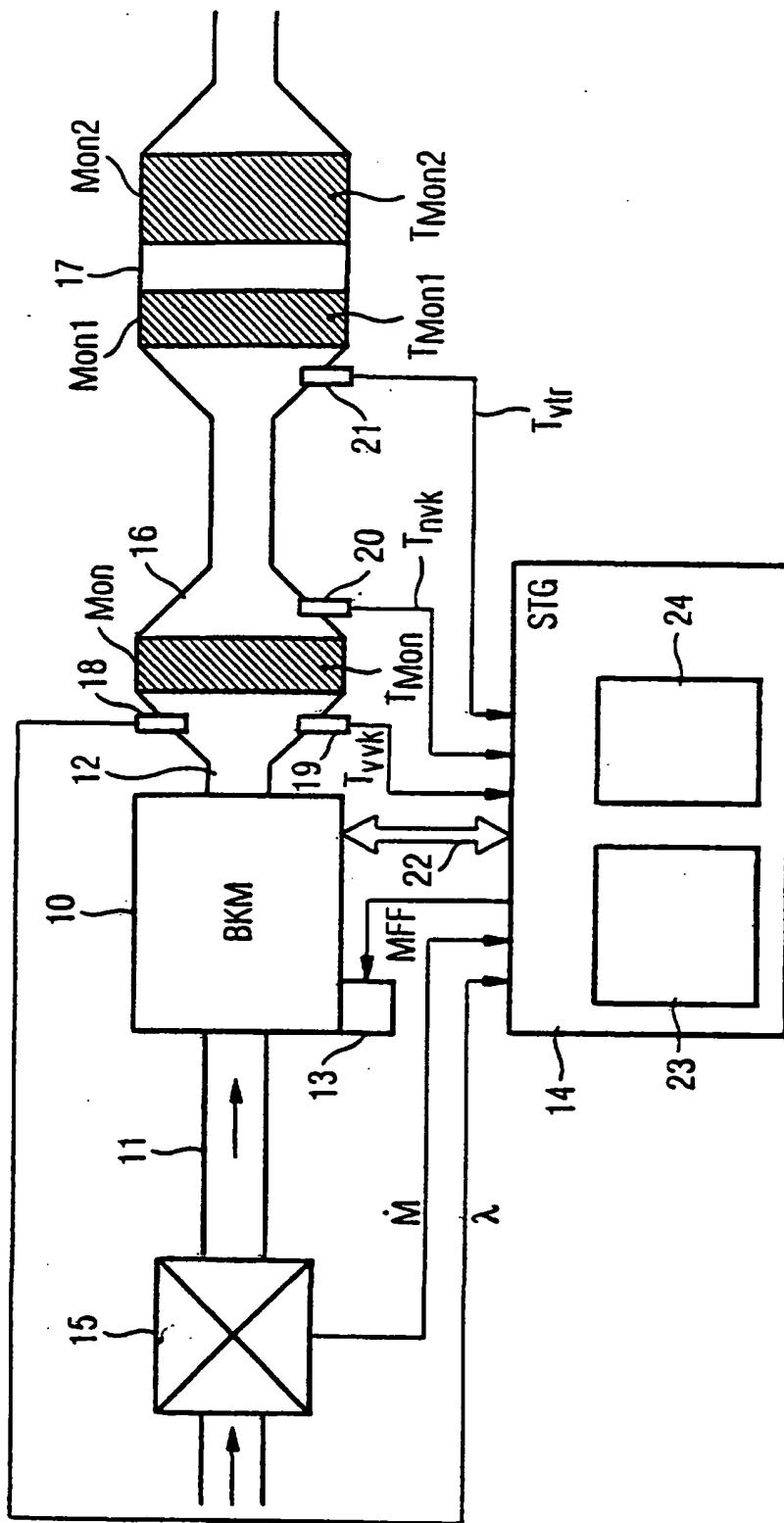


FIG 2

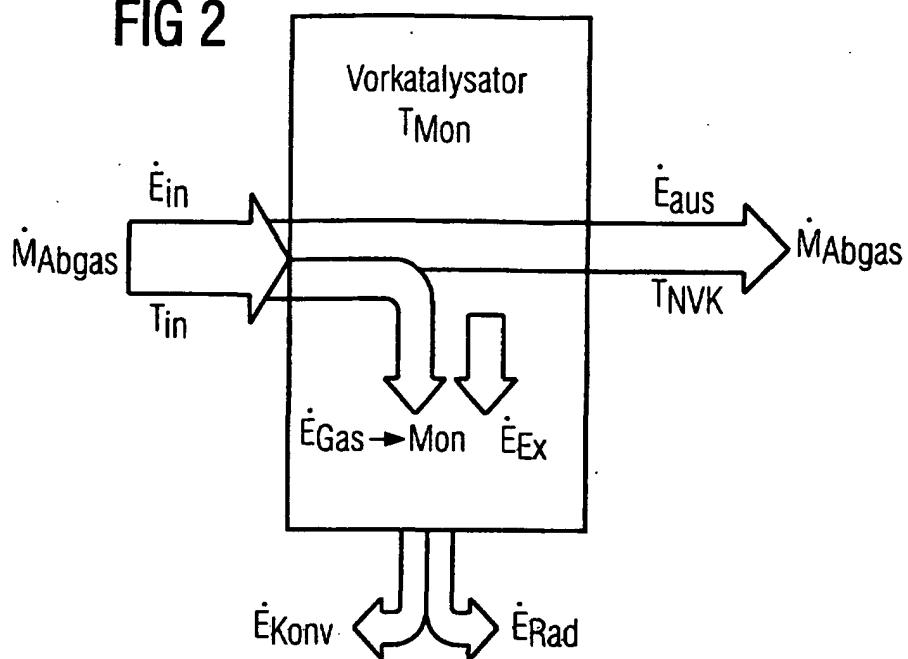


FIG 3

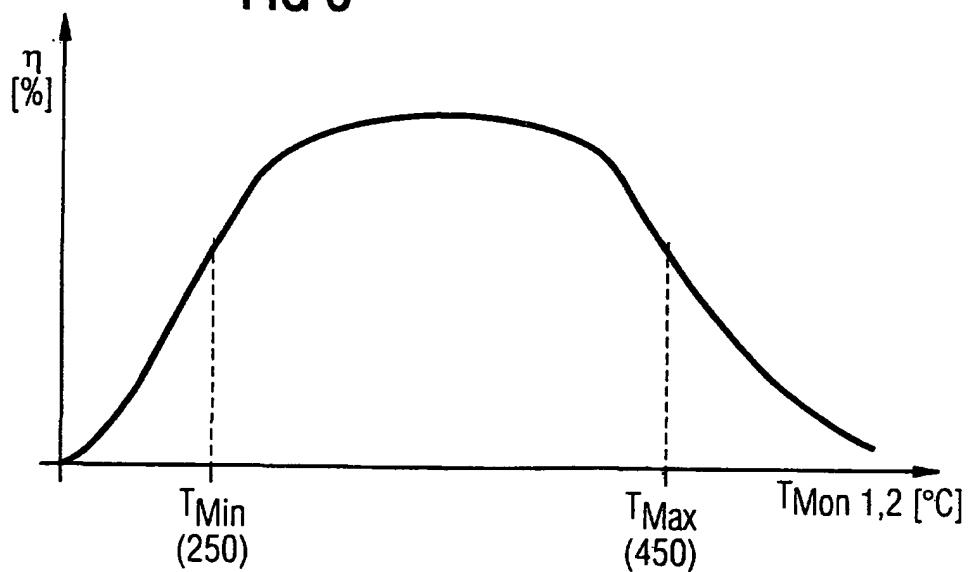


FIG 4

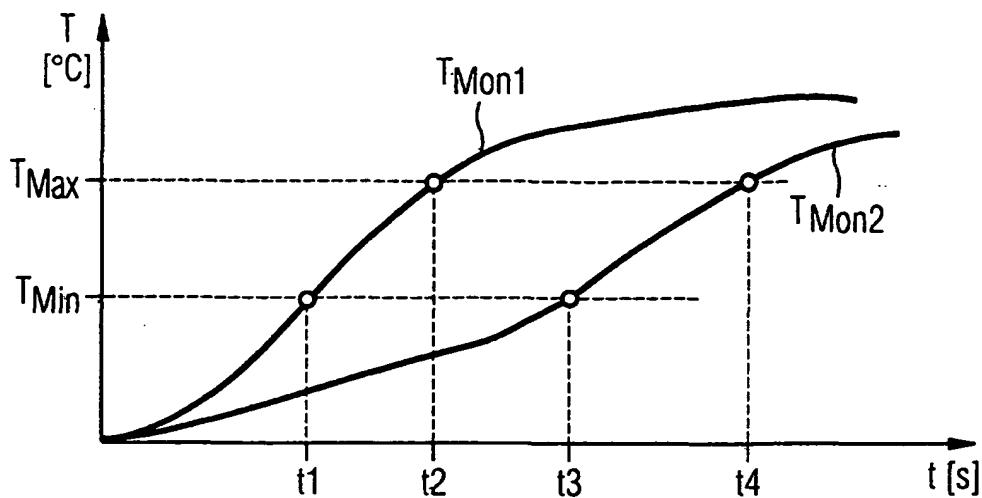
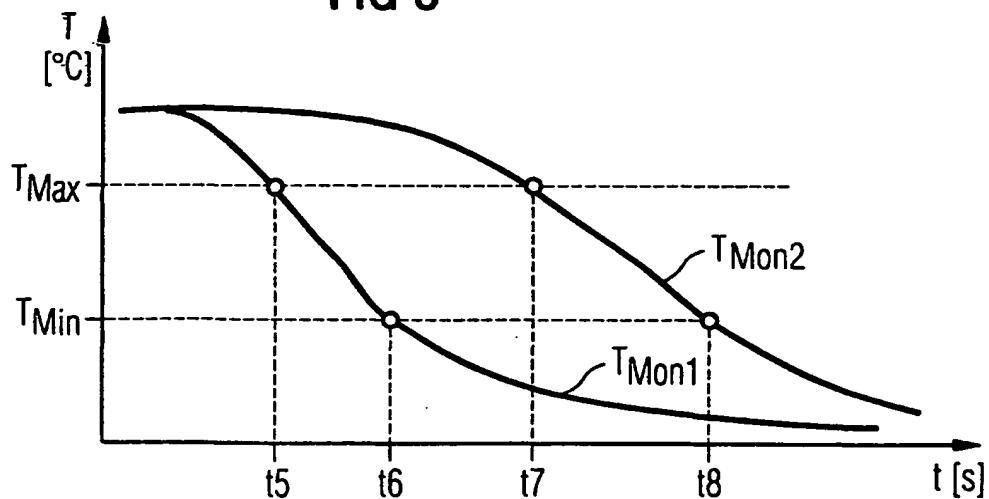


FIG 5



This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

BLACK BORDERS

IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

FADED TEXT OR DRAWING

BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

SKEWED/SLANTED IMAGES

COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

GRAY SCALE DOCUMENTS

LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**

This Page Blank (uspto)